

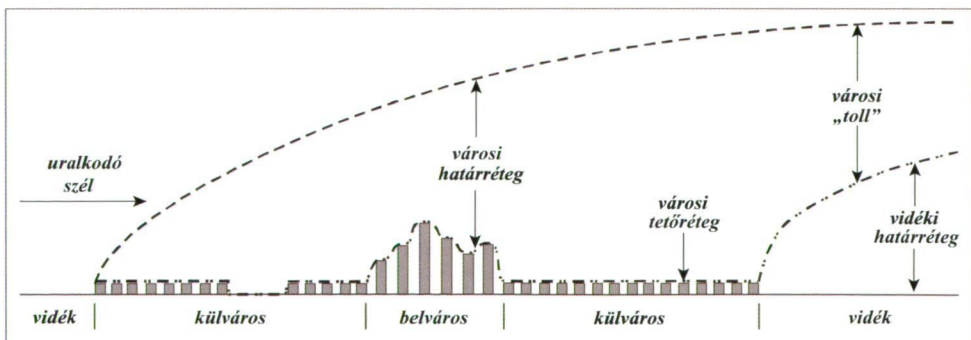


A város ÉGHAJLAT-módosító hatása – a szegedi hősziget

Unger János

1. Bevezetés

A természetes területektől eltérően a települések felett két légréteg alakul ki: A városi határréteg (*urban boundary layer* – UBL) magassága jelentős mértékben függ az érdességi viszonyoktól. A városi határréteg tetőszint alatti és feletti rétegekre különíthető el. A városi határréteg nagyobbik része, amelynek alapja a tetőszint közelében van, lokális vagy mezoskálájú jelenség és jellemzőit az általános városi felszín alakítja ki. A nappali UBL szerkezete és dinamikája hasonló a vidéki határrétegéhez (*rural boundary layer* – RBL), attól eltekintve, hogy általában annál valamivel turbulensebb, melegebb, szárazabb és szennyezettebb. Az 1. ábrán látható, hogy a városi határréteg burokként veszi körül a települést és függőleges kiterjedése meghaladja az RBL magasságát. Enyhe és közepes erősségű szél esetén a városi határréteg egy „toll” vagy „zászló” formájában elnyúlik a vidéki (természetes) légköri határréteg felett a széliránynak megfelelően. Így, a városon túl a természetes felszínnek megfelelően kifejlődött RBL felett helyezkedik el – a városi levegő tulajdonságait sokszor 10–100 km-re is kiterjedően hordozó – réteg. Az éjszakai UBL gyökeresen más, mint vidéki megfelelője. Zavartalan viszonyok között gyakran a 300 m-es magasságig is kiterjed és továbbra is jellemző rá a viszonylag erős keveredés, míg az RBL-ben a kisugárzás hatására erőteljes inverziós rétegzettség alakul ki.



1. ábra. A városi légkör szerkezete (Unger és Sümegehy, 2002)

A városi határreteken belül, az átlagos tetőszint magasságában kialakuló ún. városi tetőszint réteg (*urban canopy layer* – UCL) tulajdonságait mikroskálájú (épületekhez, terekhez, parkokhoz stb. kapcsolódó) folyamatok kormányozzák (1. ábra).

A városokban megfigyelhető mikroklimák tarka mozaikszerűségükkel tűnnek ki. Az utcák, terek, parkok és udvarok mind sajátos éghajlattal rendelkeznek, amelyekben azonban közös vonások is vannak, melyek éppen a lokális (helyi) éghajlat, a városklíma keretében jutnak kifejezésre. Kialakulásának főbb okai a következők:

- A természetes felszint részben burkolt felületek (épületek, utak, járdák stb.) helyettesítik, amelyek más hővezetési képességgel és hőkapacitással rendelkeznek.

- A városi felszín geometriája rendkívül összetett, a térbeli egyenetlenségek horizontálisan és vertikálisan is igen változatosak. A természetes helyett egy új sugárzó felszín alakul ki az épületek tetőszintjében.

- A helyi energiaegyenlegnek bizonyos esetekben lényeges része lehet az emberi tevékenység által (ipar, közlekedés, fűtés) termelt és a környezetbe kibocsátott vagy kikerült hő is.

- Befolyásoló tényezők az antropogén folyamatok során keletkező anyagok, így a vízgőz, gázok, füst és egyéb szilárd szennyezőanyagok, melyek a várost lefelszerűen vonják be.

A település földrajzi adottságai (pl. medencefekvés, tengerparti elhelyezkedés) erősíthetik vagy gyengíthetik az antropogén okok hatására bekövetkező változások mértékét.

Lowry (1977) alapmodellje szerint a városi klímaparaméterek (pl. hőmérséklet) M értékei három elem összegzett eredményeként állnak elő:

$$M = C + L + U \quad [1]$$

ahol C a terület háttérklímájának mérési adataiból származik, L a földrajzi elhelyezkedés (topográfia, vízfelület stb.) sajátosságainak befolyásoló hatásaiból adódik, U pedig az összetett városi környezet (területhasználat, anyag, geometria, épület-tömeg, városon belüli elhelyezkedés, emberi tevékenység stb.) eredőjét jelenti.

2. A klímaparaméterek városi módosulásai

Hőmérséklet

A városi és a természetes felszínek eltérő energia-egyenlegének következtében általában hőmérsékleti többlet, ún. városi hősziget (*urban heat island* – UHI) alakul ki a város légtérében, a felszínén, valamint az alatta lévő rétegekben is néhány méteres mélységig. A városi és külterületek felszíne felett mért hőmérsékletek különb-

ségével definiálható a hősziget intenzitása. Az 1. táblázat egy összefoglalását nyújtja a különbséghez vezető főbb tényezőknek és folyamatoknak (Oke, 1982).

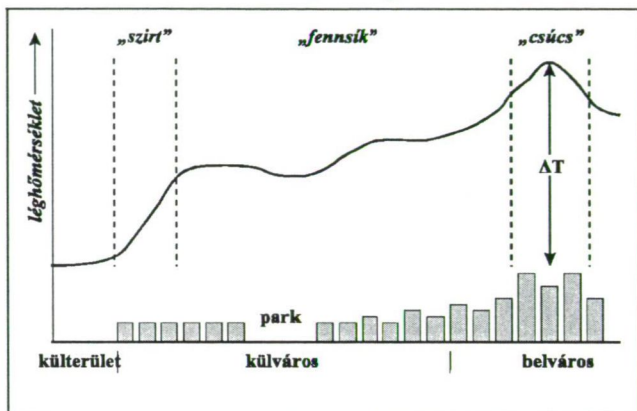
1. táblázat. Az UHI kialakulásának okai a felszín közeli légtérben (a külterülethez viszonyítva) (Oke, 1982)

Változás az energia-egyenlegben	A változást okozó városi hatótényező és következménye
megnövekszik a rövidhullámú sugárzás elnyelése	utcák geometriája – megnövekedett felszín és többszörös visszaverődés
megnövekszik a hosszúhullámú sugárzás az égbolt felől	légszennyezés – nagyobb elnyelés és visszاسugárzás
csökken a hosszúhullámú sugárzási veszteség	utcák geometriája – csökken az égbolt-láthatóság
antropogén hőforrások	hővesztesség az épületekből és az ipar, közlekedés révén
megnövekszik az érzékelhető hőtárolás	építési anyagok – nagyobb termális vezetőképesség
csökken az evapotranspiráció	építési anyagok – nagyobb szigetelés (beépítettség)
csökken a turbulens hőszállítás	utcák geometriája – kisebb szélesebség

A városi hősziget horizontális területi szerkezete jól érzékelteti, hogy mennyire találó a „sziget” elnevezés. Az izotermák rendszere ugyanis egy „sziget” alakját rajzolja ki, amelyet a nálánál hűvösebb vidéki környezet „tengere” vesz körül (12–13. ábra). A hőmérséklet a külterületek felől a belváros felé haladva a külváros peremvidékén erőteljesen megemelkedik („szirt”). Ezt követően a növekedés lassú, de viszonylag egyenletes („fennsík”), amelyet csak a közbeékelődő parkok, tavak stb. eltérő energia-egyenlege módosít valamennyire. A sűrűn beépített belvárosban észlelhető a hőmérsékleti „csúcs” (Oke, 1987). Természetesen ilyen viszonylag szabályos alakzat a kisebb léptékű klimatikus folyamatok kialakulásához kedvező időjárási helyzetekben jön létre, általában csak rövid ideig áll fenn, illetve az idő múlásával meg lehetőségn gyorsan változik (2. ábra).

A horizontális méretek mellett a hőszigetnek van egy vertikális kiterjedése is (néhányszor 10 m-től 2–300 m magasságig). Az intenzitásban kimutatható egy magassági függés, amely szerint a legnagyobb különbségek a város és a külterület között a felszín közelében jelentkeznek, majd a különbség a magassággal csökken. Zavar-talan kisugárzási feltételekkel rendelkező éjszakákon a város felett a hőmérséklet egy ideig alig változik, míg a környező területeken erőteljes talajmenti sugárzási inverzió

fejlődik ki, vagyis a hőmérséklet felfelé növekszik. Ennek következtében a levegő egy viszonylag vékony felszín közeli réteget elhagyva már melegebb a vidéki, mint a városi terület felett, így a felszín közeli légrétegre jellemző hősziget ellenkező előjelűvé válik, kialakul az ún. „cross-over” jelenség.



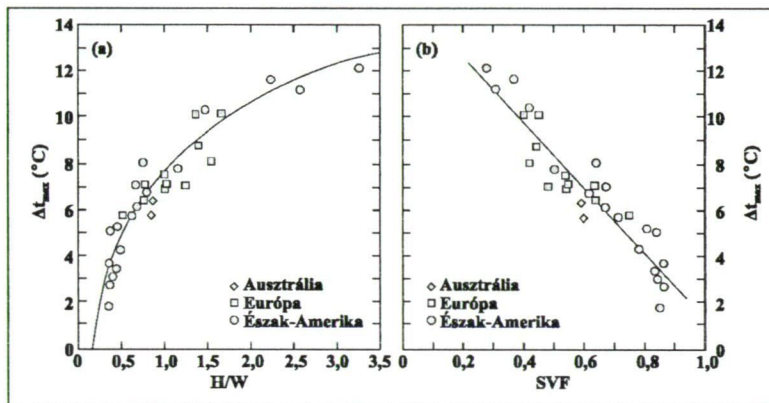
2. ábra. A napnyugta utáni tipikus UHI generalizált keresztmetszete (Oke, 1987)

A hősziget-intenzitás jellegzetes napi menetet mutat. E szerint a késő délutáni és az esti mérsékelt leűlés következtében a hajnali minimumhőmérséklet magasabb, mint a külső területeken, ugyanakkor napkelte után a város légtére lassabban melegszik fel. Ezek eredőjeként az intenzitás napnyugta után gyorsan növekszik és kb. 3–5 órával később éri el a maximumát. Az éjszaka hátralévő részében a különbség lassan, de egyenletesen csökken, majd a csökkenés napkeltekor felerősödik. Tehát a nap folyamán a hősziget intenzitásának mértékét a lehűlési és felmelegedési ütemek eltérései szabályozzák.

A hősziget kifejlődésének mértékét – ahogy már utaltunk is rá – az időjárási tényezők is jelentősen befolyásolják. Kialakulására kedvezőek a magasnyomású (antiklonális) helyzetek, amikor általában derült az ég és közel szélcsend van. Az erős szél nagymértékben gyengíti, sőt akár meg is szüntetheti a hőmérsékleti többletet. Az intenzitás szoros kapcsolatban áll a település méretével is, melynek egyik lehetséges – de nem feltétlenül a legjobb – mérőszáma a lakosok száma. Még az ezerfős településeken is kimutatható a hősziget, és nagyvárosok esetén a lehetséges legnagyobb hőmérsékleti módosulás 12°C körül alakul (Park, 1987; Klysik and Fortuniak, 1999).

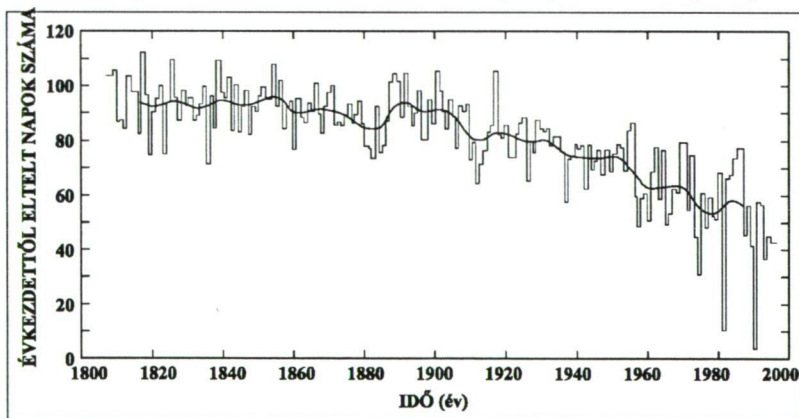
A beépítettség szerkezete és az intenzitás között is van összefüggés, ugyanis minél magasabbak a házak az utcák szélességéhez viszonyítva, annál inkább akadályt jelentenek a hosszúhullámú kisugárzás számára, vagyis annál kisebb a lehűlés üteme (3. ábra). Egy ilyen beépítettségi mutató az égbolt-láthatósági index (*sky view factor*

– SVF), amely egy adott helyről az égbolt látszó hányadát jelenti. Minél nagyobb az átlagos értéke, annál kisebb erősségű a hősziget kifejlődése (Oke, 1981). Tehát szoros kapcsolat létezik a zártabb beépítettség és a magasabb városi hőmérséklet között.



3. ábra. Az UHI intenzitás maximuma (ΔT_{\max}) és a város központi részein (a) lévő utcák átlagos magasság/szélesség aránya (H/W), valamint (b) az SVF közötti kapcsolat néhány kontinensen (Oke, 1981, 1988)

A hősziget évszakonként más-más előjellel befolyásolja a légtér komfortértékét. A közepes szélességeken nyáron a város felmelegedése humán bioklimatológiai szempontból rendkívül kedvezőtlen, télen viszont kifejezetten előnyös. Emellett a városban meghosszabbodik a fagymentes időszak és ezzel a növények vegetációs időszaka, eltolódnak a fenológiai fázisok, csökken a fagyok intenzitása, a fagyos és téli napok száma, megrovidül a hótakaróval borítottság ideje, nő a meleg és nyári napok

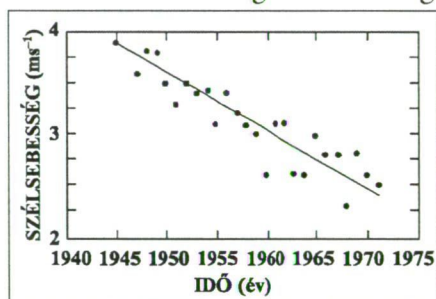


4. ábra. A vadgesztenye rügyfakadásának ideje Genfben (a vastag vonal a 20 éves csúszóátlag menete) (Chmielewski, 1998)

száma (4. ábra). Kevesebb lesz az ún. fűtési napok száma (a fűtésre felhasznált energia mennyiségének egyik mutatója), ugyanis minél közelebb vannak a házak egymáshoz, annál nagyobb védelmet nyújtanak egymásnak az időjárás szélsőségei ellen és emiatt viszonylag annál kevesebb energia felhasználására van szükségük.

Szél

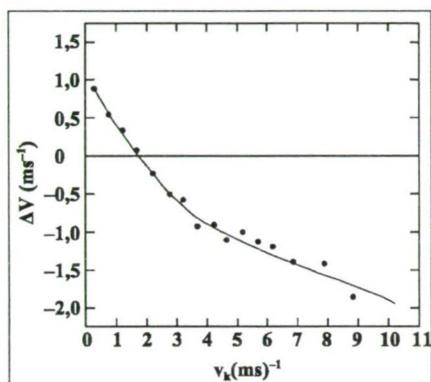
Az erős tagoltság következtében fellépő nagyobb felszínközeli súrlódás miatt a városokban a szélesebség akár 20–30%-kal gyengülhet, míg a heves szellőkések esetében a csökkenés 10–20%-os. Ugyanakkor a szélcsendes esetek száma 5–20%-kal növekszik. Ezekről az átlagos értékektől a különböző irányú útvonalak és terek mentén, a magas házak között igen változatos eltérések jöhetnek létre. Bizonyos esetekben, például szélcsatornák kialakulásakor a szél erősödése is megfigyelhető, ugyanis az uralkodó szél irányával megegyező és magas házakkal szegélyezett utcákban általában felgyorsul a légáramlás. A járda és az úttest közepe között 10–50%-os szélerősség-különbség is tapasztalható. Kimutatható, hogy az idő során a település növekedésével folyamatosan csökken az éves átlagos szélesebség (5. ábra).



5. ábra. Az éves átlagos szélesebség időszora egy növekvő városban (Hancavicsi, Fehéroroszország) (Landsberg, 1981)

A városi szélesebség csökkenés mértéke függ az eredeti szél erősségétől is, sőt, lassú légáramlás esetén megfordul a helyzet, ugyanis a város felett növekedés mutatkozik. Ez azzal magyarázható, hogy a hősziget miatt a város felett kialakuló fokozott feláramlás a mozgásmennyiség erőteljesebb kicserélődését, vagyis a felszín közeli szélesebség növekedését vonja maga után. Nagyobb szélesebségek esetén viszont az érdekes városi felszín által okozott súrlódás szerepe válik meghatározóvá. Budapesten a belvárosi szélnövekedés kb. 2 ms^{-1} -nál gyengébb áramlás esetén jelentkezik (6. ábra).

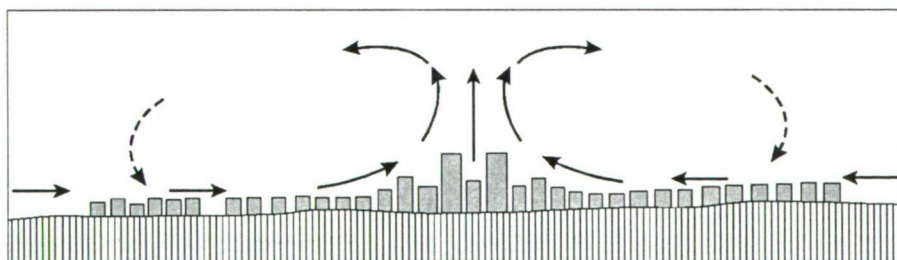
A tengeri-parti szél analógiájára fejlődik ki a város által létrehozott légmozgás is. Ha gyengék a nagyléptékű légáramlások, akkor az előzőekben említettek szerint a beépített terület általában melegebb a környezeténél, ami az alsóbb légrétegekben a külterület felől a városközpont felé irányuló áramlást indít el. Ez az ún. városi szél,



6. ábra. A városi és az eredeti (külsőterületi) szél sebességkülönbségének (Δv) változása az eredeti szél (v_k) erősségének függvényében (Probáld, 1981)

amelynek iránya azonban a nap folyamán nem fordul meg, mert a város csaknem mindig melegebb, mint a külsőterületek. Például Budapesten a város sík K-i, DK-i peremterületein kimutatható ez az áramlás (Probáld, 1974).

A városi felszín általában rendkívül tagolt, érdes, ami erőteljes súrlódási hatást fejt ki a központ felé összeáramló levegőre és jelentősen lelassítja azt. Ezért csak egy bizonyos küszöböt meghaladó város–vidék termikus különbség (UHI) esetén indulhat be a cirkuláció. Kialakulásának hajtóerői és hatásterülete szerint meg lehet különböztetni a városi szél nappali és éjszakai változatát. Nappal a városban a környezetenél magasabb hőmérséklet elsősorban az épületek felmelegedett tetőinek szintjében mutatkozik, amely a belváros felett erőteljes függőleges feláramláshoz vezet. Ennek pótlására a külső területek felől a tetőszint felett indul meg egy befelé tartó áramlás (7. ábra). Éjszaka a városi hőmérsékleti többlet az utcák szintjében jelentkezik és ezért a városi szél a felszín közelében mutatható ki. A beáramlás mélysége nagymértékben attól függ, hogy vannak-e a kívülről a központ felé elnyúló, részben zöldterületek, ún. ventilációs folyosók, amelyeknek kisebb az érdességük és így kevésbé akadályozzák a cirkulációt. Ilyen szerepet általában parkok, folyómedrek, utak és vasúti pályák tölthetnek be.



7. ábra. A városi hősziget által keltett cirkuláció vázlata (Noto, 1996)

A városi szél sajátossága, hogy működése esetén a kialakulását előidéző tényezők ellen hat, s a megfigyelések szerint egy bizonyos periodikusságot mutat. Ugyanis a külterületről a centrum felé összeáramló levegő a kiegyenlítő hatás következtében gyengíti a hőszigetet, aminek következtében csökken a cirkulációt fenntartó hőmérsékleti különbség. Ha ez a különbség az előbbiekben említett küszöb alá esik, akkor a légáramlás leáll. Ezután viszont a hűtőhatás hiányában az UHI újra megerősödik és egy idő után ismét elindítja a városi szelet.

A településeken az emberek az utca szintjében, a házak között megrekedt, a gépjárművek által szennyezett levegőben élnek. Ehhez társul még – főleg a nyári időszak fülledt estéin – a fokozottan melegebb környezet hőterhelése is. Szélcsendes vagy gyengén szeles időszakokban ezek a kellemetlen, egészségkárosító és közérzetet rontó hatások még hatványozottabban jelentkeznek. Csökkentésükben nagy jelentősége lehet a beáramló városi szélnek, aminek kialakulására egyébként is csak ilyen időjárási helyzetekben van reális esély. Ezen belül is az éjszakai változatnak van fontosabb szerepe, mert az a felszín mentén a belső városrészek felé szállítja a külterületek tisztább és hűvösebb levegőjét.

Napjainkban már fontos szempont a városi levegőkörnyezet minőségének javítása. Ezzel összefüggésben a várostervezés, városrendezés során gondolni kell a városi szél kialakulásának elősegítésére, ugyanis pozitív hatását csak bizonyos feltételek mellett képes kifejteni. A gyakorlatban ez a ventilációs folyosók felderítésével, újak kialakításával, a meglévők bővítésével és az esetleges beépítések megakadályozásával valósulhat meg. A városlakók egészségének és jó közérzetének érdekében alapvető fontosságú, hogy ez a hasznos levegőcsere-folyamat zavartalanul kialakulhasson, illetve fennmaradjon.

Légnedvesség, köd és csapadék

A növényzet és a párologtató természetes felszínek nagymértékű hiánya, valamint a magasabb hőmérséklet miatt a városokban nagyobb a levegő kiszáradásának hajlama, ami az alacsonyabb relatív nedvesség értékeiben jelentkezik. A legnagyobb eltérések (8–10%) – összhangban a hőmérsékleti többlet maximumával – az esti órákban és nyáron jelentkeznek. Az abszolút nedvesség esetében az eltérés iránya nem általánosítható ilyen egyértelműen, függ az időszaktól és a vizsgált várostól is.

A felhő és ködképződés folyamatában döntő szerepük van a levegőben lebegő kis részecskének (kondenzációs magvaknak), amelyek elősegítik a levegőben lévő vízpára kis vízcseppekké való formálódását. Ha a körülmények kedveznek a cseppecskék növekedésének, akkor egy bizonyos nagyság után ezek csapadék formájában kihullanak a légkörből. Elméletileg a városok aeroszollokkal szennyezettebb légköre és a hősziget-hatás miatt fellépő erőteljesebb konvekció kedvező az intenzívebb felhő- és csapadékképződéshez, amennyiben a szükséges vízpára is rendelkezésre áll.

Számos nagyvárosban a kibontakozó iparosodás és a vele járó aeroszol-kibocsátás kedvezett a ködképződésnek, hatására megnőtt a ködös napok száma. Ebben az idő-

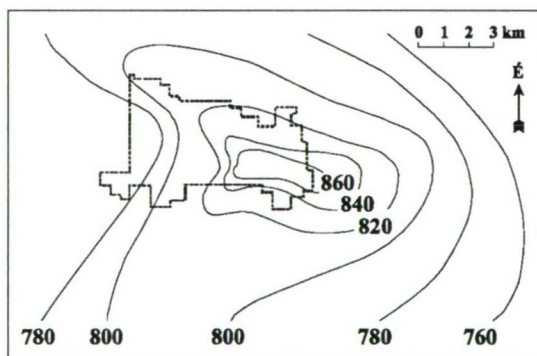
szakban a településeken – különösen, ha nagyobb vízfelület volt a közelében – gyakoribb és tartósabb volt a ködképződés, mint a környezetükben. A fejlettebb országokban a korszerűbb fűtési módszereknek, termelési technológiáknak és tisztítóberendezéseknek köszönhetően a javuló levegőtisztasági feltételek csökkentették a ködös periódusok gyakoriságát (2. táblázat). Újabban az tapasztalható, hogy több helyen a települések kevésbé ködösek, mint környezetük. Ehhez valószínűleg az is hozzájárul, hogy a városok növekedésével erősödő hősziget miatt a levegő relatív nedvessége csökken, ami fékezi a kondenzáció mértékét, ezért a ködök ritkábban és későbbben kezdenek kialakulni.

2. táblázat. A ködös napok átlagos száma különböző időszakokban Tokió esetében (Unger és Sümeghy, 2002)

Időszak	Ködös napok száma/év
1986–1900	14.2
1936–1940	52.4
1971–1975	12

A városokban sokszor ún. száraz köd is megfigyelhető, amely a levegőben lévő szilárd szennyezőanyagokból áll össze és hatására a látástávolság nagymértékben lecsökken.

A fentebb említett okok miatt az urbanizált területek – ha korlátozott hatótávolsággal is – kimutatható csapadéknövekedést mutatnak. Ez a növekedés nem közvetlenül a városközpont felett, hanem – az uralkodó szélnek megfelelően – egy kissé eltolódva a lee-oldal irányában jelentkezik (8. ábra). Megfigyelhető a zivatarok és jégesők számának és intenzitásának erősödése, valamint a hócsapadék arányának csökkenése az esőéhez képest.



8. ábra. Az éves csapadékatlag (mm) izovonalai (Urbana, Illinois, a pontozott vonal a város határa) (Landsberg, 1981)

3. A szegedi hősziget

A szegedi régió éghajlati adottságai

A globális, nagyléptékű éghajlati felosztást tekintve, Magyarország jelentős része – így a tárgyalt térség is – a Köppen-féle Cf (meleg-mérsékelt éghajlat, egyenletes évi csapadékeloszlással), vagy a Trewartha-féle D.1 (kontinentális éghajlat, hosszabb meleg évszakkal) klímaövezetbe tartozik (Péczely, 1979).

Az országon belüli finomabb körzetekre bontás a víz- és energiaellátottság különbözőségeinek figyelembe vételén alapul (Péczely, 1979). A vízellátottság mérésére a $H = Q^*/L \cdot C$ ariditási index alkalmas, ahol Q^* ($\text{MJm}^{-2}\text{év}^{-1}$) a sugárzási mérleg, L (MJkg^{-1}) a párolgási hő és C (mm) a csapadék évi összegét jelenti. Az energia- vagy hőtényezőt a vegetációs időszak (április-szeptember) átlagos hőmérséklete (t_v) alapján lehet mérlegelni. Az éghajlati körzetek kijelölésénél a két megközelítés szerint a következő fokozatokat alkalmazzák:

nedves:	$H < 0,85$	hűvös:	$t_v < 15,0^\circ\text{C}$
mérsékeltlen nedves:	$0,85 < H < 1,00$	mérsékeltlen hűvös:	$15,0^\circ\text{C} < t_v < 16,5^\circ\text{C}$
mérsékeltlen száraz:	$1,00 < H < 1,15$	mérsékeltlen meleg:	$16,5^\circ\text{C} < t_v < 17,5^\circ\text{C}$
száraz:	$1,15 < H$	meleg:	$17,5^\circ\text{C} < t_v$

Az elméletileg lehetséges 16 kombinációból 12 realizálódik hazánk területén. Az ország legnagyobb részén, főleg az alföldi területeken meleg-száraz és mérsékeltlen meleg-száraz éghajlat uralkodik (Péczely, 1979). Szegedre és környékére a meleg-száraz klíma a jellemző, vagyis a nyár meleg, aszályra hajlamos, bőséges a napfénytartam, aránylag kicsi a páratartalom és a felhőzet, télen kevés a hócsapadék, emiatt vékony a hótakaró.

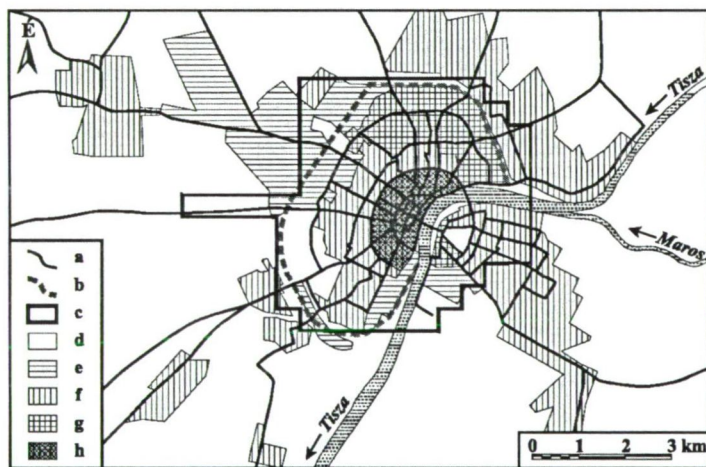
3. táblázat. Szeged térségének havi éghajlati átlagértékei

	J	F	M	Á	M	J	J	A	Sz	O	N	D
globális sug. (MJm^{-2})	114	177	325	456	594	635	655	567	410	273	122	83
napfény-tartam (h)	64	90	143	187	258	271	309	286	211	152	79	52
felhőzet (%)	71	65	59	59	53	51	42	39	42	54	69	75
szélsebesség (ms^{-1})	3,3	3,4	4,0	3,7	3,2	2,9	2,9	2,7	2,6	3,0	3,0	3,7
lég hőm. ($^\circ\text{C}$)	-1,2	0,6	6,3	11,4	16,8	20,0	22,4	21,4	17,5	11,9	5,9	1,4
max. hőm. ($^\circ\text{C}$)	1,7	4,1	10,9	16,7	22,4	25,3	28,0	27,0	22,7	16,8	9,0	3,9
min. hőm. ($^\circ\text{C}$)	-4,4	-3,0	1,6	6,2	11,4	14,7	16,5	15,6	12,0	7,1	2,4	-1,0
napi hőm. ingás ($^\circ\text{C}$)	6,1	7,1	10,3	10,5	11,0	10,6	11,5	11,4	10,7	9,7	6,6	4,9
párányomás (hPa)	5,1	5,3	6,7	8,6	12,0	14,5	15,2	14,6	12,6	10,1	7,7	6,0
relatív nedv. (%)	83	79	73	66	64	62	58	59	65	73	82	84
csapadék (mm)	32	34	38	49	61	68	51	48	47	52	52	41

A vizsgált térség átlagos havi és évi éghajlati adatait a 3. táblázat tartalmazza (Péczy, 1979). Ezekből a klimatikus paraméterekből is világosan látható, hogy a városi hősziget jelenségének tanulmányozására Szeged kifejezetten alkalmas, hiszen a gyakran előforduló száraz, nem túl szeles és felhős időjárás kedvez a kisléptékű klimatikus folyamatok, így hősziget kifejlődésének is.

A vizsgált terület lehatárolása

Földrajzi helyzetük szerint a magyarországi nagyvárosokat három nagy csoportba sorolhatjuk: völgyekben elterülő, hegyvidék és síkság találkozásánál elhelyezkedők, valamint síksági fekvésűek. A városi éghajlat kifejlődése szempontjából az első két típusba tartozó települések vizsgálata igen bonyolult, mert ezeknél nagyon nehéz elkülöníteni egymástól a mesterséges és a domborzati hatásokat. Azonban a harmadik kategóriába tartozó települések (pl. Szeged) kedvező feltételeket kínálnak a városklimatológiai kutatásokhoz és az itt végzett részletes mérések és vizsgálatok általános következtetések alapjául szolgálhatnak.



9. ábra. A vizsgált terület és a fő szerkezeti-morfológiai típusok Szegeden: (a) főúthálózat, (b) körtöltés, (c) vizsgált terület határa, (d) mezőgazdasági és szabad terület, (e) ipari és raktározási terület, (f) kertváros, (g) panel lakótelepek, (h) belváros 3–5 emeletes épületekkel

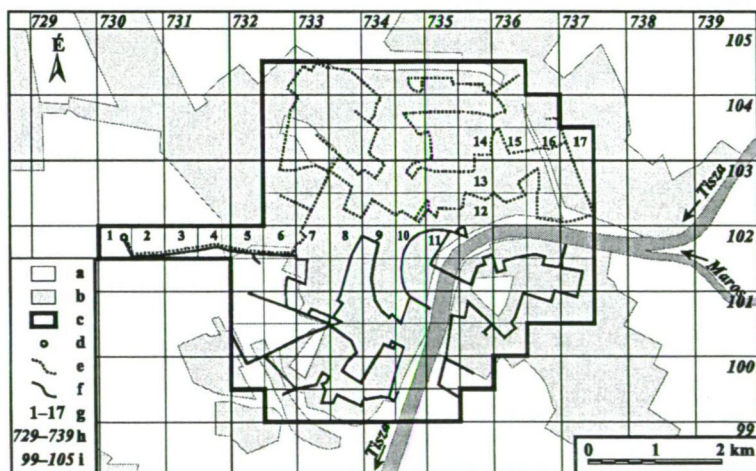
Szeged lakosságának száma kb. 160 ezer, közigazgatási területe 281 km², de az igazán városi és elővárosi területek csak kb. 25–30 km²-t foglalnak el, és nagyrészt az árvíz elleni védelemként szolgáló körtöltésen belül helyezkednek el (9. ábra). A város főbb szerkezeti-morfológiai típusait a viszonylag sűrűn beépített belváros, a nagy panelépítésű lakótelepek, az ipari és raktárházak körzetei, a családi házas részek, valamint a városi parkok, a Tisza menti zöldterületek és a külterületek mezőgazdasági

földjei jelentik. Úthálózata körutas-sugárutas rendszerű (9. ábra). Eddigi kutatásainkból (pl. Unger et al., 2000, 2001a, 2001b) következően a Tisza keskeny vízfelületének hőmérsékleti hatása szinte teljesen elhanyagolható.

Az előzőek szerint érdemes Szegeden ilyen irányú vizsgálatokat végezni, ezért nem véletlen, hogy az itteni városklíma-kutatás napjainkban – hazánk vidéki városait tekintve egyedülálló módon – már sokéves múltra tekinthet vissza. Például Sindely (1978), Károssy és Gyarmati (1981), Pelle (1983) és Unger (e.g. 1992, 1995, 1996, 1999a, 1999b) eddigi munkái jó áttekintést nyújtanak Szeged klímájának számos összetevőjéről, valamint a humán bioklíma helyi sajátosságairól.

Kutatási módszerek

Napjaink szegedi kutatásai a település közigazgatási területének belső részeire irányulnak, minden korábbinál nagyobb részletességgel. A várost és környékét az Egységes Országos Térképrendszer (EOTR) 1:10.000 méretarányú földmérési-topográfiai térképein található kilométer-hálózati vonalak alapján 500x500 m oldalhosszúságú négyzetes gridekre osztottuk fel (10. ábra), mint pl. Park (1986) kutatásaiban. Hasonló cellaméretet lehet találni Longet al. (2003) és Lindberg et al. (2003) munkáiban is. Szegeden a városi hősziget tanulmányozása 107 négyzetre (azaz 26,75 km²-re) terjed ki, mely Szeged városi és elővárosi negyedeit foglalja magába. A kívül eső részek főleg falusi vagy vidéki jellegűek, ezért nincsenek benne a hálózatban, kivéve a nyugati peremnél lévő négy cellát, melyek szükségesek a vidéki és a városi területek hőmérsékleti különbségének megállapításához (10. ábra).



10. ábra. A vizsgált terület gridcellákra osztása, valamint (a) szabad terület, (b) beépített terület, (c) vizsgált terület határa, (d) mérőutak kezdőpontja: az OMSZ obszervatóriuma, (e) Északi mérőút, (f) Déli mérőút, (g) keresztmetszeti vizsgálathoz használt cellák számozása, (h) y EOTR koordináta, (i) x EOTR koordináta km-ben megadva

A maximális UHI intenzitás területi vizsgálata mérőautókkal gyűjtött adatokon alapult az 1999. március és 2000. február, illetve a 2002. április és 2003. március közötti (tehát 2 x 1 éves) időszakokban. A gépkocsival végzett mobil mérést egyébként általános eljárásnak tekinthetjük bizonyos városklíma jellemzők detektálására (pl. Oke and Fuggle, 1972; Moreno-Garcia, 1994; Klysik and Fortuniak, 1999).

Ahhoz, hogy kellő mennyiségű hőmérsékleti adattal rendelkezünk a vizsgált területről és időszakokból, 7–10 naponta olyan mobil méréseket végeztünk, amelynek során a mérési útvonalon minden gridet érintettünk legalább egyszer-szer. A nagy számban összesen 48+35 alkalommal végrehajtott mérések (Sümeghy and Unger, 2003a) alapján a teljes vizsgált területen az UHI maximális kifejlődésének mértékéről részletes információkat kapjunk, különböző időjárási helyzetekben (hulló csapadék kivételével).

A cellák nagy száma és ebből következően a szükséges mérési útvonal hossza miatt a területet két szektorra kellett osztani. Az Északi-szektor 54, a Déli-szektor 53 négyzetből áll, az útvonalak teljes (tehát oda-vissza mért) hossza 68, illetve 66 km (3. ábra), melyeknek a bejárása kb. 3–3 órát vett igénybe. A hőmérsékleti értékek egy időpontra vonatkozó átszámítása megkövetelte az ilyen hosszú idejű mérést és az ugyanazonokon az útvonalakon való visszatérést.

Az észlelés során a mérőautókra sugárvédelemmel ellátott, 0,01°C-os érzékenységgű hőmérsékleti szenzor volt felszerelve, amely egy digitális adatgyűjtőhöz kapcsolódott. A gyűjtő az adatokat 10 másodpercenként rögzítette, vagyis az autó átlagosan 20–30 kmh⁻¹-s sebességénél a mérési pontok között 55–83 m volt a távolság. Természetesen a közlekedési viszonyok miatt nem lehetett mindig egyenletesen haladni, de a késő esti méréseknél a kis forgalom nem bizonyult jelentős akadályozó tényezőnek. A feltétlenül szükséges megállások – pl. piros lámpa, sorompó



11. ábra. Mérőautó a rúdra szerelt hőmérsékleti szenzorral

– során rögzített adatokat utólag töröltük az állományból. Az említett sebességtartomány megfelelő szellőzést biztosított a szenzor számára, így az mindig valóban a környező levegő hőmérsékletét rögzítette. A szenzor 1,45 m magasan és 0,60 m-rel a kocsi eleje előtt helyezkedett el egy rúdon, hogy a motor és a kipufogógáz hőhatása ne befolyásolja a mért értékeket (11. ábra).

A rögzített hőmérsékleti értékeket cellánként átlagoltuk és átszámítottuk az adott mérésre jellemző referencia időpontra (napnyugta utáni negyedik óra), amely a korábbi vizsgálatok alapján a legvalószínűbb ideje a legerősebb városi hősziget bekövetkezésének a nap során Szegeden. Az átszámításnál felhasználtuk azt a tényt, hogy a hőmérséklet a mérés ideje alatt nagyjából lineárisan változott, amelyet korábbi kutatások már alátámasztottak, figyelembe véve, hogy a külvárosi területeken ez csak hozzávetőlegesen igaz az eltérő hűlési gradiensek miatt (Oke and Maxwell, 1975).

A város és környezetének hőmérsékleti különbségét (az abszolút UHI intenzitást °C-ban) a következőképpen értelmeztük: $T_{\text{cella}} - T_1$, ahol T_{cella} az aktuális városi cella és T_1 a legnyugatibb, vidékinek tekintett cella hőmérséklete (10. ábra). A hősziget tanulmányozása során nemcsak az abszolút intenzitás vizsgálata bizonyult hasznosnak, hanem az úgynevezett normalizált intenzitása (0 és 1 közötti érték) is. Ez utóbbi a $(T_{\text{cella}} - T_1)/(T_{\text{cella(max)}} - T_1)$ hányadossal értelmezhető, ahol $T_{\text{cella(max)}}$ annak a városi cellának a hőmérséklete, amely az adott mérés során a maximális volt. Ebből adódóan a vidékinek tekintett cella normalizált UHI intenzitása mindig 0 lesz, míg a legnagyobb hőmérsékletű celláé pedig 1.

A városi hősziget kifejlődését jelentős mértékben befolyásoló területhasználat jellemző, generalizált paramétereinek meghatározása a SPOT XS úrfelvételek kiértékelésével történt, kombinálva a Földrajzi Információs Rendszer (GIS) módszerével (Mucsi, 1996). A felvételek felbontása, vagyis egy pixel nagysága 20x20 méter volt, amelynek révén kisebb területi egységek jellegzetességeit is fel lehetett tárni. Az úgynevezett Normalizált Vegetációs Index (Normalised Difference Vegetation Index – NDVI) értékeit a pixelek értékeiből a következő egyenlet adja meg (Gallo and Owen, 1999):

$$\text{NDVI} = (\text{IR} - \text{R})/(\text{IR} + \text{R})$$

ahol IR a pixel értéke a közeli infravörös (0,72–1,1 μm), R pedig a vörös sávban (0,58–0,68 μm). Az NDVI értékek +1 és –1 között váltakoznak a zöldfelületek arányának megfelelően a vizsgált egységben. Segítségével a zöldfelületeken kívül a beépített, a vízzel borított és az egyéb felszíneket is el lehet különíteni.

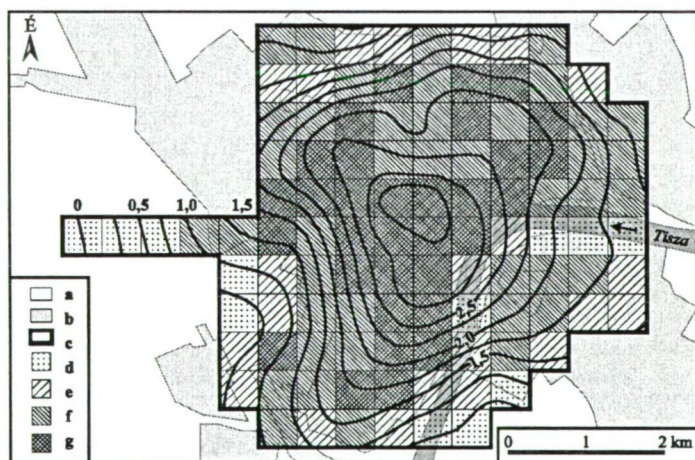
A maximális UHI intenzitás területi elterjedésének vizsgálatából kapott adatok – jellegükénél fogva – megfelelő alapot biztosítottak további egyéb, a témához szorosan kapcsolódó kutatásra, így pl. a város szerkezetét reprezentáló keresztmetszeti menti kutatásokra is (Unger et al., 2001c). Nem nyújtottak lehetőséget azonban az

UHI időbeli dinamikájának (tehát fel- és leépülésének) tanulmányozására, márpedig ennek a modellezése is rendkívül fontos a városi hősziget jelenségének még részletesebb megértéséhez. Éppen ezért ennek a kérdésnek a vizsgálata indukálta a 2002. április és 2003. március közötti (havi gyakoriságú) keresztmetszet-mérési sorozatot (Sümeghy and Unger, 2003b). A kutatás módszere gyakorlatilag megegyezik az előzőekkel, a különbség csak az, hogy egyrészt a mérési út a kiválasztott (1–17) keresztmetszeti cellákra korlátozódott, miáltal az útvonal egyszeri oda-vissza bejárása kb. 50 percre rövidült (3. ábra), másrészt a mérések ismétlődve, napnyugtától hajnalig tartottak.

Az átlagos maximális hősziget területi eloszlása

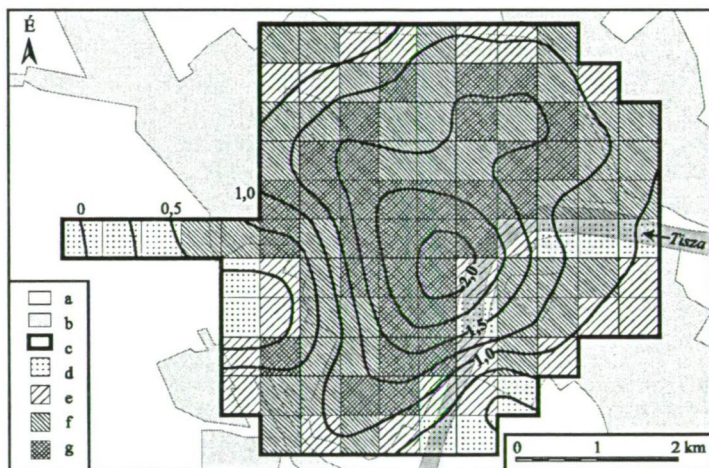
Mint azt az általános részben már említettük, a városi hősziget kialakításában számos tényező játszik szerepet. Természetesen ezek mindegyikének vizsgálata fontos feladat (Bottyán and Unger, 2003; Sümeghy and Unger, 2003a), de statisztikai módszerekkel igazolhatóan is az egyik legjelentősebb befolyással a beépítettség mértéke bír (Oke, 1987; Géczi and Loerincz, 1998; Unger et al., 2000). Most ennek a tényezőnek az UHI szerkezetére gyakorolt hatását szemléltetjük különböző időjárásal és antropogén hőkibocsátással jellemezhető időszakokban.

A fűtésmentes félévben (április 16. – október 15.) az izotermák csaknem szabályos koncentrikus alakot vesznek fel, a külvárosoktól a belső területek felé növekvő értékekkel és szoros összefüggést mutatnak a beépítettség mértékével (12. ábra). Erősebb eltérés a koncentrikusságtól a város ÉK-i és ÉNy-i részén figyelhető meg, ahol a 2,25°C-os vonal kinyúlik a külterületek felé, amelynek magyarázata az itt elhelyezkedő nagy, panelépítésű lakótelepek ill. az ipari területek hatásában keresendő.



A $1,5^{\circ}\text{C}$ -os izoterma kinyúlását DNy, ÉNy és ÉK felé is a 75%-nál nagyobb beépítettség okozza. A legnagyobb különbségek ($>2,75^{\circ}\text{C}$) a központra jellemzők és 8 cellát fednek le (2 km^2). A legerősebb intenzitás ($3,18^{\circ}\text{C}$) a központi cellától (10., lásd 9. ábra) egy kicsit É-ra jelentkezik. Az átlagosan 2°C -nál nagyobb UHI intenzitású – azaz jelentős termális módosulással jellemezhető – terület viszonylag nagy, a vizsgált terület 37%-ára terjed ki (40 cella).

A fűtési félévben (október 16. – április 15.) az általános koncentrikus jellegen túl a 75%-nál nagyobb beépítettség az $1,5^{\circ}\text{C}$ -os izoterma ÉNy-i és ÉK-i, az 1°C -os DNy-i, ÉNy-i és ÉK-i irányú kinyúlását okozza (13. ábra). A legnagyobb különbségek ($>2^{\circ}\text{C}$) a belvárosban koncentrálódnak, kevesebb, mint 2 cellát fednek le, ami a teljes területnek mindössze 2%-a. Bár szerkezetileg hasonló a fűtésmentes szezonhoz viszonyítva, a legnagyobb UHI intenzitás abszolút értékben lényegesen kisebb ($2,12^{\circ}\text{C}$). Mindez arra utal, hogy az erre az időszakra jellemző antropogén eredetű többletű korántsem ellensúlyozza a nyári időszakhoz képest megváltozott időjárási körülményeket (gyengébb besugárzás, erősebb szél, nagyobb borultság) (3. táblázat).



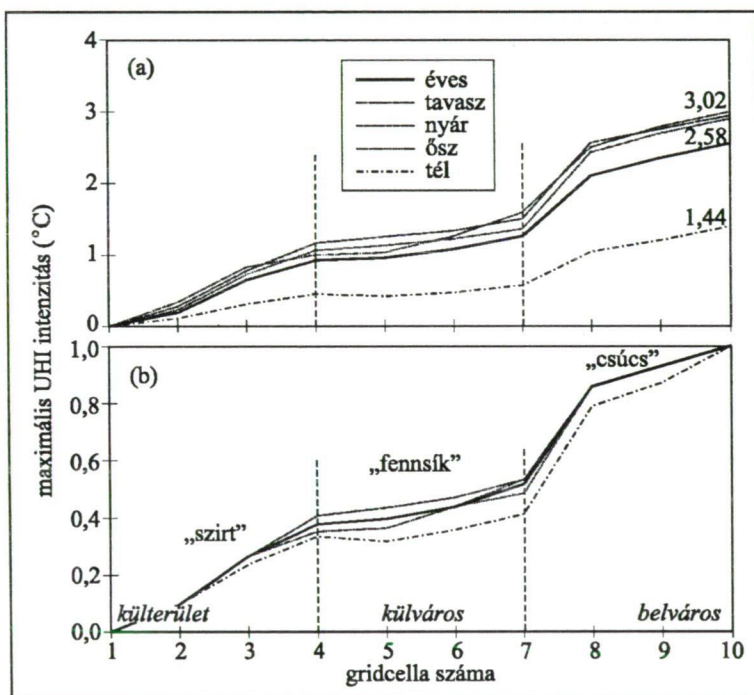
13. ábra. A beépítettség mértéke és az átlagos max. UHI intenzitás kapcsolata a fűtési félévben [(a) szabad terület, (b) beépített terület, (c) vizsgált terület határa, (d) 0–25%-os, (e) 25–50%-os, (f) 50–75%-os és (g) 75–100%-os beépítettség]

A keresztmetszet menti adatokból levonható általános következtetések

A vidékinek tekinthető 1. cellától a város központjában elhelyezkedő 10. celláig tartó, tulajdonképpen fél-keresztmetszet végighúzódik Szeged legfontosabb szerkezeti-morfológiai típusain (szabad terület, ipari-raktározási rész, kertvárosi negyed, belváros), csak panel lakótelepet nem érint (9. és 10. ábra). E keresztmetszet mentén a fedett felszín, azaz a beépített terület (épületek, utcák, járdák, parkolók stb.) aránya

fokozatosan, bár nem teljesen egyenletesen növekszik: értéke a külterületen 0%, míg a legnagyobb, 90%-nál magasabb beépítettség Szeged középpontja körül (9. és 10. cella) található.

Az 1999. március – 2000. február közötti időszakra vonatkozó átlagos maximális UHI intenzitás részletes szezonális tárgyalását érdemes azzal kezdeni, hogy a 14. ábra szerint a profilok minden évszakban jellegzetes ugrást mutatnak a beépített terület



14. ábra. Az (a) abszolút és (b) normalizált átlagos maximális UHI intenzitás évszakos és éves profiljai Szegeden a fél-keresztmetszet mentén

szélénél (4. cella), és a legnagyobb értékeket a városközpontban (10. cella) éri el. Az abszolút értékek tavasszal, nyáron és ősszel majdnem ugyanazok az összes cellában (0–3,02°C), vagyis a keresztmetszet mentén az UHI intenzitás ebben a három évszakban nagyon hasonlóan alakul. Télen viszont a hőmérsékleti profil értékei még a felét sem érik el a másik három évszakban tapasztaltaknak: ekkor a legnagyobb intenzitás csak 1,44°C. Az alacsony téli értékek miatt az átlagos éves profil a tavaszihoz, nyárihoz és őszihez viszonyítva mérsékeltébb (2,58°C).

A városi hőmérsékleti többlet nagyságának évszakai változásai főként az eltérő időjárási körülményeknek tulajdoníthatók (3. táblázat). A téli hónapokra jellemző

a legnagyobb felhőzöttség és az erősebb szél, amikor az UHI intenzitás a leggyengébb. Azonban az is megfigyelhető, hogy nyáron, az előbb említett paraméterek értékeinek minimális viszonyai között, az UHI intenzitása mégsem a legerősebb a városi keresztmetszet minden pontjában: a tavaszi és őszi profilok helyenként a nyári fölött futnak. Ez arra utal, hogy a klimatológiai tényezők hatásai meglehetősen komplexek, és más tényezők is feltehetően szerephez jutnak.

Az évszakos UHI profilok elemzését a normalizált értékek vizsgálatával folytatva azt találjuk, hogy a szezonális különbségek jelentősen lecsökkennek. Ezek a görbék – néhány helyi sajátosságtól eltekintve – nagyon jól követik az Oke (1987) által leírt tipikus UHI keresztmetszetet. Szegeden a „szirt” értéke mind a négy évszakban a 2. és a 4. cella közötti, kb. 1 km hosszú erőteljes hőmérséklet-emelkedést jelent (14. ábra). A továbbiakban négy cellán át (a 4.-től a 7.-ig) tart az 1,5 km hosszú, nagyon lassú növekedést mutató hőmérsékleti „fennsík”. Ezután a 7. és 8. cella között (0,5 km) van egy második, igen meredek „szirt” is, amely jelzi a „csúcs”-régió kezdetét. A legnagyobb értékekkel jellemezhető terület meglehetősen széles (három cella, 1 km-es hosszúságban), így a valódi „csúcs” viszonylag kevésbé hegyes. Ez jól magyarázható a belváros kiterjedésének viszonylagos nagyságával és homogenitásával, amelyet – az 1879-es szegedi árvíz rombolása után – a századforduló és a XX. század első évtizedeiben épült 3–5 szintes házak jellemeznek. Összességében megállapítható, hogy a teljes egy éves mérési periódusban a keresztmetszet mentén a normalizált átlagos maximális UHI nagyon hasonlóan változik mindegyik évszakban.

A normalizálás tehát felfedte a tipikus városi keresztmetszet hőmérsékleti eloszlását, vagyis az UHI különböző városrészek szerinti arányát, ami alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az évszakos átlagos UHI profilok alakja szinte kizárólag csak a városi tényezőktől függ. E tényezők hatása között azonban a beépített terület aránya csak az egyiket jelenti (mivel a város szélétől a központ felé haladva a hőmérséklet növekedése nem követi pontosan a beépítettség cellánkénti változását). Ezért biztos, hogy másik paraméterek, pl. a városközponttól mért távolság csökkenése is domináns tényező a hőmérséklet változásának kialakításában (Unger et al., 2000). Természetesen ennek a két városi jellemzőnek (és más egyéb, jelen cikkben nem vizsgált tényezőknek, mint pl. az épülettérfogatnak és épületmagasságnak, vagy az égbolt-láthatóságnak) az UHI intenzitásra gyakorolt befolyása nem külön-külön, hanem csak együttes hatásukban értelmezhető.

Ezzel egy olyan kérdéskörhöz érkeztünk, amikor mindenképpen vissza kell térni a klímára gyakorolt városi hatások modellezésének a korábban említett általános problematikájára, ahol ezt a hatást számszerűsítve mindig a településen belül és a külterületen észlelt értékeknek a különbségeként értelmezzük (Oke, 1997). Eredményeinket egy paraméterre alkalmazva az [1] egyenletben módosíthatjuk, illetve pontosíthatjuk a városi változót (U) (Lowry, 1977). A modellből ugyanis az L tag abban az esetben hagyható el ($= 0$), ha a vizsgált település és környezete földrajzi

szempontból egyszerű (pl. a nagy vízfelületektől távol elterülő, síksági fekvésű Szeged). Ekkor a modellegyenlet leegyszerűsödik:

$$M = C + U \quad [2]$$

Amennyiben az M paraméter alatt hőmérsékletet értünk, akkor az UHI jelenti a település hőmérséklet-módosítását, azaz: $UHI = U$. Esetünkben a városnak az n -dik cellájában, adott időszakban vagy évszakban (t) jelentkező hatását U_m -nel jelöljük. Az előzőek szerint a szezonális átlagos normalizált UHI profilokból arra lehet következtetni, hogy a profil alakja (ezt U_{Nn} -nel szimbolizáljuk, mely a normalizált UHI értékét jelenti az n -dik cellában) független az időjárási viszonyok évszakai változásától, kialakítását a városi tényezők (u_n) határozzák meg: $U_{Nn} = f_1(u_n)$. A másik oldalról viszont az abszolút UHI intenzitás egy adott városi helyen egy adott időpontban (U_m) nemcsak a városi (u_n), hanem a településre és környezetére ható időjárási tényezők (c_t) függvénye is: $U_m = f_2(u_n, c_t)$. Eredményeink szerint egy adott cellában a település hatását az időjárási tényezők erősíthetik vagy gyengíthetik is. Ezért a város valódi hőmérséklet módosításának leírásához javasoljuk a [2] egyenlet olyan értelmű átalakítását, amelyben az u_n és c_t tényezők hatása (az f_1 és f_2 függvény) szorzat formájában jelenik meg a modellben:

$$U_m = f_1(u_n) \cdot f_2(c_t), \text{ azaz általánosan } U = u \cdot c, \text{ tehát:}$$

$$M = C + u \cdot c \quad [3]$$

Kihangsúlyozzuk azonban, hogy ez az eredményül kapott módosított [3] modell-egyenlet csak speciális (azaz egyszerű) földrajzi elhelyezkedésű települések esetére és csak a hőmérsékletre érvényes. Ennek az elméleti megfontolásnak azonban fontos szerep jut a városi hősziget matematikai-statisztikai modellezése és előrejelzése megalkotásához (Bottyán and Unger, 2003).

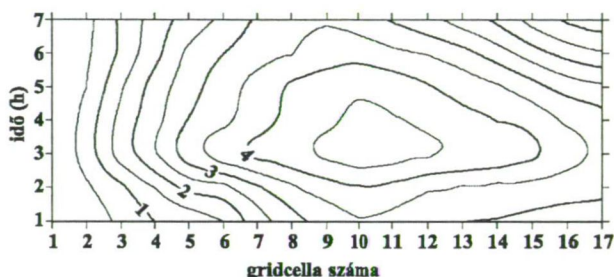
A hősziget dinamikája

Az UHI térbeli és időbeli dinamikáját a teljes keresztmetszet (1–17 grid) mentén tanulmányozzuk, amely a város összes fontos szerkezeti morfológiai típusát (a nagy panelépítésű lakótelepeket is) is érinti (9. és 10. ábra). Ehhez a 2002. április és 2003. március között végzett mérések biztosítanak adatbázist.

A városi hőmérsékleti többlet nagyságának jellegzetes a napi menete és a városon belül eléggé eltérő a mértéke. Ezt egy eset, a 2002. június 17–18.-i éjszakán lezajlott észlelés bemutatásával szemléltetjük. A mérés napja kedvező feltételeket kínált az UHI vizsgálatához: ekkor ugyanis egy anticiklon uralkodott a térségben (a légnyomás meghaladta az 1020 hPa-t), amelynek következtében majdnem teljesen felhőtlen

volt az ég végig, és csak gyenge ($< 3 \text{ ms}^{-1}$) ÉNy-i szél fújt. Napnyugta után ennek iránya lassan É-ira, majd ÉK-ire változott, és sebessége tovább csökkent ($< 2 \text{ ms}^{-1}$). Hajnalra a nappali 28°C -ot meghaladó hőmérséklet 17°C körülire süllyedt.

A 14. ábra segítségével egyszerre vizsgálhatók a városi hősziget kifejlődésének különböző sajátosságai: az ábra vízszintes irányú metszetei az UHI intenzitás napnyugta utáni időpontokra vonatkozó térbeli elrendeződéseiről tájékoztatnak, a függőleges irányú metszetek elemzése pedig a hősziget intenzitás időbeli változásairól tanúskodnak adott helyek (cellák) esetében.



15. ábra. Az UHI intenzitás izoplétái ($^\circ\text{C}$) a teljes keresztmetszet mentén egy éjszaka folyamán Szegeden (2002. június 17–18.)

Ez az esettanulmányul választott, 7 órás (7 fordulóból álló) méréssorozat egy viszonylag ideális hősziget képét rajzolja föl, ugyanis a legmagasabb ($4,5^\circ\text{C}$ -nál nagyobb) értékek a központban (10. cella környezetében) és 3–4 órával napnyugta után jelentkeznek. Az UHI értékei minden időpontban a vidéki területtől (1. cella) a centrumig növekszenek, majd onnan ismét gyengülnek a város ÉK-i szélé (17. cella) felé. Az izopléták futásában azért tapasztalható némi aszimmetria: egyrészt a 17. cella irányába mutató megnyúlás azzal magyarázható, hogy ott nagy beépítettségű területek találhatók, másrészt a napnyugta után 3–4 órával a maximális értékek kis mértékű eltolódása a 9. cella (Ny) felé az éjszakai szélirány-változás (ÉNy-iról ÉK-ire) következménye. Ebből is látható, hogy a városi és a meteorológiai tényezők együttes hatása hogyan alakítja, módosítja a városi hősziget térbeli és időbeli dinamikáját.

Összegzés

A szegedi példában a város és vidék közötti maximális hőmérséklet-különbség területi eloszlását, illetve – kiválasztott városi keresztmetszetek mentén – annak évszakos változásait vizsgáltuk annak reményében, hogy a városklíma sajátosságaira vonatkozóan általános következtetéseket is levonjunk. A következő eredményekre jutottunk:

- Az UHI intenzitás eloszlásának térbeli szerkezetéről megállapítható, hogy leg-szorosabb kapcsolatot a beépítettségi értékekkel mutatja. Az intenzitás szerkezetére a többé-kevésbé koncentrikus forma jellemző, az ettől való eltérés jól magyarázható a városon belüli beépítettségi mutatók változásával.

- Jelentős különbségek tapasztalhatók az UHI intenzitás abszolút értékeiben a fűtési és a fűtésmentes félévben ez utóbbi javára, ami az egyik kiindulási alapját jelentheti továbbiakban tervezett humán bioklimatológiai vizsgálatoknak.

- Az évszakos profilok rendkívül jól követik az UHI tipikus általános kereszt-metszetét.

- A normalizált értékek alkalmazása nagyon hasznosnak bizonyult a városi keresztmetszet hőmérséklet eloszlásának vizsgálatában: kiderült, hogy az évszakos átlagos UHI profilok alakja független a szezonális időjárási viszonyoktól, és menetüket elsősorban a városi tényezők határozzák meg.

- Ezért a városi hőmérséklet (M) értékeit megadó modellegyenlet módosítását javasoljuk az egyszerű földrajzi környezetben elhelyezkedő települések esetére: M egyenlő a C tényező (a terület háttérklímája) és az U komponens (a város hőmérséklet-módosító hatása) összegével, ahol azonban az $U = u \cdot c$ (azaz az időjárási és városi tényezők szorzat formájában megadható együttes hatásával).

- A hősziget térbeli és időbeli dinamikáját is a városi és a meteorológiai tényezők (a vizsgált esetben elsősorban a beépítettség és a szél) együttes hatása alakítja, illetve módosítja.

A példában egy nagyobb kutatási projekt néhány részeredményét mutattuk be, melyek megalapozzák a városi hősziget matematikai-statisztikai modellezését és előrejelzését. Ezzel kapcsolatos eredményeink szerint a következőket állapíthatjuk meg (Bottyán and Unger, 2003; Bottyán et al., 2003):

- A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a vizsgált paraméterek, így a beépítettségi arány, az égbolt-láthatósági index, az épületmagasság és a központtól mért távolság erős lineáris kapcsolatot mutatnak az UHI-vel. A kapott modell-egyenletek nagy pontossággal írják le a hősziget területi eloszlását, a cellánkénti átlagos abszolút eltérés mindkét félévben $0,5^{\circ}\text{C}$ -nél kisebb.

Összességében elmondhatjuk, hogy a statikus paraméterek alapján történő területi statisztikus becslés megbízható alapot szolgáltat a hősziget-intenzitás meteorológiai paraméterek bevonásával történő, időbeli és térbeli eloszlásának előrejelzéséhez, amely kutatásunk további, egyben legfontosabb célja is. Ezzel olyan statisztikai modellek készítésére nyílik lehetőség, amelyek segítségével külön mérések nélkül, csak a kiindulási adatok bevitelével megbecsülhetővé válik a maximális hősziget nagysága a város bármely területén, bármilyen időjárási helyzet mellett. Ennek nagy jelentősége lehet például várostervezési szempontból és a távfűtéshez felhasználandó energiamennyiség előzetes megbecslésében.

Irodalom

- Bottyán, Z. and Unger, J. 2003: A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theor. Appl. Climatol.* 75, 233–243.
- Bottyán, Z., Balázs, B., Gál, T. and Zboray, Z. 2003: A statistical approach for estimating mean maximum urban temperature excess. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 36–37, 17–26.
- Chmielewski, F. M., 1998: Gebiete der Angewandten Meteorologie. In: *Hupfer, P. und Kuttler, W.* (eds): *Witterung und Klima*. Teubner, Stuttgart–Leipzig, 365–393.
- Gallo, K. P. and Owen, T.W. 1999: Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias. *J. Appl. Meteorol.* 38, 806–813.
- Géczi, R. and Loerincz K. 1998: Thermal Characteristics of Kolozsvár Urban Area. In *Urban Ecology* (ed. by Breuste J., Feldmann, H. and Uhlmann, O.), pp. 153–155, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg.
- Károssy Cs. és Gyarmati Z. 1981: Városi hősziget kialakulása Szeged légterében. *JGYTFK Tudományos Közleményei*, 111–120.
- Klysik, K. and Fortuniak, K. 1999: Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland. *Atmos. Environ.* 33, 3885–3895.
- Landsberg, H. E. 1981: *The urban climate*. Academic Press, New York. 275 p.
- Lindberg, F., Eliasson, I. and Holmer, B., 2003: Urban geometry and temperature variations. *ICUC-5*, Łódź, Poland, O.14.1.
- Long, N., Mestayer, P.G. and Kergomard, C., 2003: Urban database analysis for mapping morphology and aerodynamic parameters: the case of St Jerome sub-urban area, in Marseille during Escompte. *ICUC-5*, Łódź, Poland, O.31.1.
- Lowry, W. P. 1977: Empirical estimation of urban effects on climate: A problem analysis. *J. Appl. Meteorol.* 16, 129–135.
- Moreno-Garcia, M. C. 1994: Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *Int. J. Climatol.* 14, 705–710.
- Mucsi, L. 1996: Urban land use investigation with GIS and RS methods. *Acta Geographica Univ. Szegediensis* 25, 111–119.
- Noto, K. 1996: Dependence of heat island phenomena on stable stratification and heat quantity in a calm environment. *Atmos. Environ.* 30, 475–485.
- Oke, T. R. 1981: Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *J. Climatol.* 1, 237–254.
- Oke, T. R. 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.* 108, 1–24.
- Oke, T. R. 1984: Methods in urban climatology. In Kirchofer W. et al. (eds): *Applied climatology*. Zürcher Geographische Schriften 14, 19–29.
- Oke, T. R. 1987: *Boundary layer climates*. Routledge, London. 435 p.
- Oke, T. R. 1988: Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings* 11, 103–113.
- Oke, T. R. 1997: Urban climates and global environmental change. In Thompson, R. D. and Perry, A. (eds): *Applied climatology*. Routledge, London–New York, 273–287.
- Oke, T. R. and Fuggle, R. F. 1972: Comparison of urban/rural counter and net radiation at night. *Bound.-Lay. Meteorol.* 2, 290–308.
- Oke, T. R. and Hannel, F. G. 1970: The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. *WMO Tech. Note* 108, 113–126.

- Oke, T. R. and Maxwell, G. B. 1975: Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmos. Environ.* 9, 191–200.
- Park, H-S. 1986: Features of the heat island in Seoul and its surrounding cities. *Atmos. Environ.* 20, 1859–1866.
- Park, H-S. 1987: Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments. *Environmental Research Center Papers* 11, Univ. Tsukuba, Ibaraki.
- Péczy Gy. 1979: Éghajlattan. Tankönyvkiadó, Budapest. 336 p.
- Pelle L. 1983: Városklíma mérések Szegeden, *Légkör* 28, No. 1., 10–12.
- Probáld F. 1981: A komfortot meghatározó éghajlati elemek módosulása a városokban. In Probáld, F. 1974: Budapest városklímája. Akadémiai Kiadó, Budapest, 127 p.
- Sindely P. 1978: A hőmérséklet és légnedvesség különbségek alakulása Szeged város és környezete között. JATE doktori értekezés (kézirat), Szeged.
- Sümeghy, Z. and Unger, J. 2003a: Classification of the urban heat island patterns. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 36–37, 93–100.
- Sümeghy, Z. and Unger, J. 2003b: Seasonal case studies on the urban temperature cross-section. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 36–37, 101–109.
- Szepesi D.: A levegőkörnyezet tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 169–176.
- UN 1993: World urbanization prospects. The 1992 revisions. United Nations.
- Unger, J. 1992: Diurnal and annual variation of the urban temperature surplus in Szeged, Hungary. *Időjárás* 96, 235–244.
- Unger, J. 1995: Urban climate research in Szeged, Hungary. *Climate Digest* 5, No. 1–2., 7–9.
- Unger, J. 1996: Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary. *Theor. Appl. Climatol.* 54, 147–151.
- Unger, J. 1999a: Urban-rural air humidity differences in Szeged, Hungary. *Int. J. Climatol.* 19, 1509–1515.
- Unger, J. 1999b: Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *Int. J. Biometeorol.* 43, 139–144.
- Unger, J., és Sümeghy, Z., 2002: Környezeti klimatológia. SZTE, TTK, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, p. 202, Szeged.
- Unger, J., Bottyán, Z., Sümeghy, Z. and Gulyás, Á. 2000: Urban heat island development affected by urban surface factors. *Időjárás* 104, 253–268.
- Unger, J., Sümeghy, Z., Mucsi, L., Pál, V., Kádár, E. and Kevei-Bárány, I. 2001a: Urban temperature excess as a function of urban parameters in Szeged, Part 1: Seasonal patterns. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 34–35, 5–14.
- Unger, J., Sümeghy, Z., Gulyás, Á., Bottyán, Z. and Mucsi, L. 2001b: Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. *Meteorological Applications* 8, 189–194.
- Unger, J., Sümeghy, Z. and Zoboki, J. 2001c: Temperature cross-section features in an urban area. *Atmos. Res.* 58, 117–127.